



УДК 621.313.3

РЕАЛИЗАЦИЯ ИЗМЕРИТЕЛЯ ТОКА ПЕРЕМЕННОЙ ЧАСТОТЫ СРЕДСТВАМИ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

IMPLEMENTATION OF VARIABLE FREQUENCY CURRENT METER BY MEANS OF MICROCONTROLLER

Костылев Алексей Васильевич, канд. техн. наук, доцент каф. «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: a.v.kostylev@urfu.ru. Тел.: +7(343)37 5-46-46

Федорченко Денис Александрович, магистрант каф. «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: fedorchenkodenis@gmail.com, Тел.: +7(953)386-81-24

Alexey Kostylev, Cand. Sc., Department «Electric drive and automation of industrial plants», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: a.v.kostylev@urfu.ru. Ph.: +7(343)37 5-46-46

Denis Fedorchenko, Master student, Department «Electric drive and automation of industrial plants», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: fedorchenkodenis@gmail.com. Ph.: +7(912)210-21-05

Аннотация: В статье описываются этапы разработки измерителя тока переменной частоты средствами микропроцессора на базе STM32 для задач измерения и последующего анализа тока на выходе преобразователя частоты.

Abstract: The article describes the stages of development of a variable-frequency current meter using a microprocessor based on STM32 for measurement tasks and subsequent analysis of the output current of the frequency converter.

Ключевые слова: электропривод; моделирование; измерение ток; микроконтроллер; STM32.

Key words: electrical drive; simulation; microcontroller; STM32.

ВВЕДЕНИЕ

Высокоточное измерение тока на выходе преобразователя частоты в режиме реального времени является актуальной проблемой на сегодняшний день. Преобразователи частоты становятся доступным средством для улучшения эффективности работы систем как в промышленности, так и в сферах ЖКХ. Ток на выходе преобразователя имеет практически синусоидальную форму с совсем небольшим содержанием высокочастотных гармоник [1]. Однако, некоторую трудность для измерений вызывает тот факт, что частота тока изменяется от 0 до 70, а в некоторых случаях и до 100 Герц. В качестве аппаратной основы анализатора сигнала токового датчика выбран микроконтроллер STM32, который обеспечивает оптимальное для данной задачи соотношение цены к производительности. При этом на микроконтроллер возлагается задача не только первичной обработки информации с датчика тока, но и статистическая обработка данных.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Задачей данного исследования является формирование алгоритма первичной обработки сигнала датчика тока, его анализа и вывода на устройство отображения. Аппаратной платформой служит отладочная плата на основе процессора STM32F100RBT6B. Это отладочная плата серии Discovery, главным элементом которой является 32 битный микропроцессор на основе ядра ARM Cortex-M3.

Программная часть работы выполнена в среде Keil uVision5, с использованием библиотеки HAL. Библиотека HAL предназначена в первую очередь для облегчения инициализации, тактирования и работы с периферией. Во-вторых, библиотека обеспечивает максимальную переносимость кода внутри семейства микроконтроллеров. Достигается это за счет драйверов уровня HAL. Это универсальные, многофункциональные и вместе с этим простые интерфейсы API (application programming interface, программный

интерфейс приложения) [2]. Для автоматизации подбора драйверов используется бесплатная программа STM32CubeMX.

Использование CubeMX позволяет максимально быстро произвести все необходимые процедуры и перейти непосредственно к написанию алгоритма, не занимаясь инициализацией и тактированием необходимой периферии напрямую.

Для оцифровки сигнала на плате имеются два аналого-цифровых преобразователя с разрядностью в 12 бит с однополярным входным напряжением не более 3,3 В постоянного тока.

МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА

Первоначальное моделирование позволяет достаточно быстро получить общую картину исследования и выявить основные проблемы. Моделирование было проведено в программе Matlab, пакет Simulink.

Алгоритм представляет собой следующее: существует некий входной сигнал, который в общем случае является синусоидой со случайной частотой и амплитудой. Этот сигнал поступает на вход функции, которая моделирует аналого-цифровой преобразователь. Модель АЦП на выходе имеет прямоугольный сигнал той же частоты, что и входной сигнал, а также массив, содержащий мгновенные значения входного сигнала. Прямоугольный сигнал поступает на функцию, которая моделирует работу таймера, работающего в режиме захвата. Как только модель таймера определила передний фронт прямоугольного сигнала, она начинает обработку собранных данных. Из массива значений исходного сигнала вычисляется амплитуда, по значению собственного счетного регистра вычисляется частота. Схема модели представлена на рисунке 1.

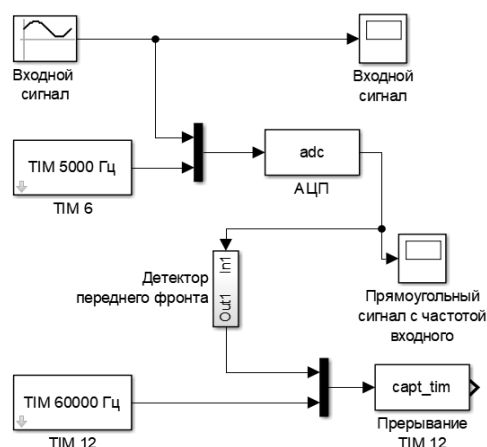


Рис. 1. Структура модели в среде MATLAB Simulink

Результатом работы модели является вывод на консоль информации о частоте и амплитуде каждого периода. Программа корректно работает во всем необходимом диапазоне частот и амплитуд. Диаграмма сигналов, представленная на рисунке 2, показывает, как работает алгоритм.

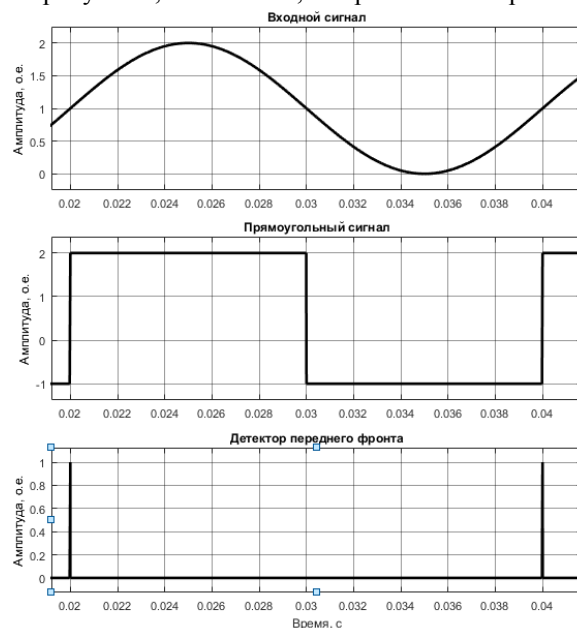


Рис. 2. Диаграмма сигналов, полученная в MATLAB Simulink

**КОНФИГУРАЦИЯ
STM32**

МИКРОПРОЦЕССОРА

Как было сказано выше, для разработки программы выбрана среда Keil uVision5. Программа написана с использованием библиотеки HAL, для быстрого старта используется STM32CubeMX. Визуализация внутренних переменных происходит через программу STM32Studio. Периферия подключена к ножкам согласно рисунку 2.

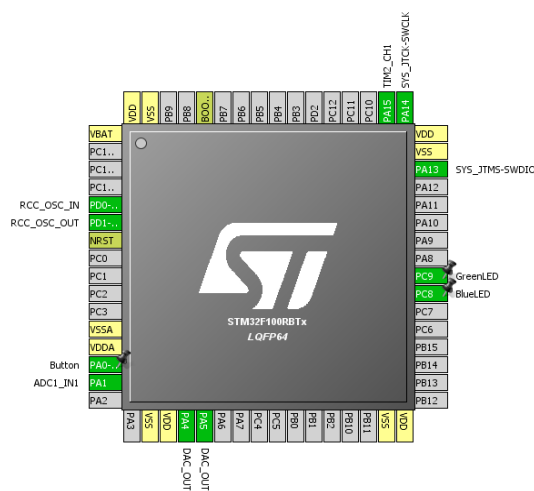


Рис. 3. Назначение вводов и выводов микропроцессора

К ножкам PA14 и PA13 подключён отладчик ST-Link, который благодаря встроенному в отладочную плату программатору позволяет взаимодействовать с программой STM32Studio.

Внешний кварцевый генератор подключен к PD1 PD0 ножкам. Использование внешнего генератора, при наличии внутреннего, обусловлено тем, что внутренний генератор является RC цепочкой [3] и не может обеспечить высокую точность и стабильность, в отличие от кварцевого резонатора, хотя и может работать на той же самой частоте в 24 МГц. На ножке PA0 находится аналого-цифровой преобразователь.

Цифро-аналоговый преобразователь единственный, но имеет два независимых канала, которые находятся на выводах PA5 и PA4. Первый канал используется для генерации синусоидального сигнала изменяемой частоты, для того чтобы обойтись без внешнего генератора сигналов. Второй канал нужен непосредственно для работы системы, он генерирует прямоугольный периодический сигнал точно такой же частоты, что и измеряемый сигнал. Микропроцессор и его две главные шины APB1 и APB2, на которых находится вся периферия, настроены на максимальную частоту в 24 МГц.

После генерации кода проект можно открыть в компиляторе Keil и адаптировать под язык C алгоритм, полученный в среде Matlab. Роль стробирующего импульса выполняет прерывание по таймеру, настроенному на частоту 5000 Гц.

ОПИСАНИЕ РАБОТЫ ПРОГРАММЫ

Сигнал с датчика тока поступает на вход аналого-цифрового преобразователя. Необходимо учитывать также, что напряжение на АЦП не должно превышать 3,3В. Для решения этой задачи необходимо использовать преобразователи уровня или другие согласующие устройства. В программе использован таймер TIM7, который с частотой 5 кГц измеряет напряжение на входе АЦП, и, в зависимости от того, больше или меньше напряжение чем 1,65В, выдает единичный или нулевой сигнал на второй канал цифро-аналогового преобразователя, который в свою очередь физически соединен с входом таймера TIM2, работающего в режиме захвата по восходящему фронту. Для того чтобы сигнал активации захвата имел всего два положения: единица и ноль, необходимо установить подтягивающий резистор, но в данном микропроцессоре уже реализована подтяжка на землю или на питание. Необходимо лишь активировать ее, установив соответствующий бит, что и было сделано в данном случае. Сам таймер настроен на такую частоту, при которой за секунду он отсчитывает 60 000

измерений. При поступлении единичного сигнала на ножку захвата таймера, его текущее значение в счетном регистре перезаписывается в переменную, а сам регистр сбрасывается. Так как частота прямоугольного сигнала, генерируемого самой платой, равна частоте сигнала с датчика тока, значение в счетном регистре таймера позволяет однозначно определить его частоту. Частота определяется в прерывании, которое происходит после получения сигнала на захват значения.

Вместе с генерацией прямоугольного сигнала, таймер TIM7 записывает каждое измеренное значение в массив. Зная частоту, а, следовательно, и период сигнала можно определить остальные параметры сигнала, такие как: амплитуду, среднееквадратичное значение или мгновенное значение напряжения в любой момент времени в пределах периода. В данном проекте с помощью специальной функции, которая находит в массиве максимальное и минимальное значение, находится амплитуда сигнала.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

По полученной в результате работы модели в программе MATLAB можно в дальнейшем моделировать различные алгоритмы обработки цифровых сигналов. Хотя модель является приближенной, на ней можно наблюдать сложные процессы, происходящие в микропроцессоре, такие как тактирование и работа с прерываниями. Программа, написанная для отладочной платы с процессором STM32F100RBT6B, была протестирована с помощью внешнего генератора сигнала, с помощью виртуальной учебной лаборатории National Instruments Elvis II. В результате проверки было выяснено, что система корректно измеряет частоту в пределах от 100 до 3 Герц, и амплитуду в пределах от 3 до 0,2 Вольт постоянного тока. Полученный программный пакет служит отправной точкой для создания системы измерителя тока переменной частоты на базе микропроцессора STM 32.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Плотников Ю.В., Перженица С.М., Юнусов Р. М. Разработка математической модели по исследованию электромагнитной совместимости частотного привода с питающей сетью и двигателем. Конференция молодых ученых Екатеринбург 2016. С.214-2017
2. STM32F1xx. HAL UM1850 User Manual. // Manual 2015
3. Trevor Martin. The insider's guide to the STM32 ARM Based Microcontroller. // Hitex (UK) Ltd, 2008. 96 pp.